บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการลิชชิ่งนิกเกิลโดยกรดซัลฟิวริกและแบคทีเรีย ซึ่งกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ 1 สำหรับการลิชชิ่งในระบบขวดเขย่า ใช้กากตะกอนผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นขนาดเล็กกว่า 80 mesh มีค่าพีเอช 8.62 และปริมาณนิกเกิล 43.2% ชนิดที่ 2 สำหรับการลิชชิ่งในคอลัมน์ใช้กากตะกอนผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นและ 0.1N H_2SO_4 ขนาดอนุภาค 20-40 mesh มีค่าพีเอช 7.42 และปริมาณนิกเกิล 42.3% สำหรับแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย คือ *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* ซึ่งเพาะเลี้ยงในสารอาหาร 9K medium และ thiomedium ตามลำดับ และปรับสภาพเชื้อให้เคยชินกับนิกเกิลโดยการเติมกากตะกอนลงในสารอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อทีละน้อย และเพิ่มปริมาณอย่างสม่ำเสมอ

5.1 การลิชชิ่งนิกเกิลโดยกรดซัลฟิวริก

การลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาณนิกเกิล 10 กรัมต่อลิตร โดยกรดซัลฟิวริกในระบบขวดเขย่า พบว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 1 และ 0.5 นอร์มัล สามารถลิชชิ่งนิกเกิลได้ 100% ภายในเวลา 24 48 และ 84 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการลิชชิ่งนิกเกิลโดยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล มีค่า 1.06 กรัมกรดซัลฟิวริก/กรัมกากตะกอน

สำหรับการทดลองในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 50 ซม. ที่บรรจุกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 1 ลิตร ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 15 มล./ตร.ซม.-ซม. พบว่าสามารถลิชชิ่งนิกเกิลได้ 28,680 มิลลิกรัม/ลิตร (13.56%) ภายใน 3.5 ซม

5.2 การลิชชิ่งนิกเกิลโดยแบคทีเรียในระบบขวดเขย่า

การลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์โดยเชื้อ *T. ferrooxidans* พบว่ากากตะกอนที่มีปริมาณนิกเกิล 43% จำนวน 1 กรัมจะเกิดปฏิกิริยาพอดีกับ $Fe_2(SO_4)_3$ 0.97 กรัม ซึ่งเกิดจาก $FeSO_4.7H_2O$ 1.35 กรัม ที่เติมลงไปในสารอาหาร 9K medium

การศึกษาเปรียบเทียบการลิชชิ่งกากตะกอนที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 กรัม/ลิตร โดยเชื้อแบคทีเรีย *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* ชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าเชื้อ *T. ferrooxidans* ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ และสารละลาย 9K medium มีประสิทธิภาพในการลิชชิ่งนิกเกิล 47% 31% และ 9% ตามลำดับ สำหรับเชื้อ *T. thiooxidans* ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ และสารละลาย thiomedium มีประสิทธิภาพในการลิชชิ่งนิกเกิล 47% 28% และ 8% ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียที่ผ่านการปรับสภาพทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการลิชชิ่งใกล้เคียงกับการใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.15 นอร์มัล

5.3 การลิชชิ่งนิกเกิลโดยแบคทีเรียในคอลัมน์

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนในคอลัมน์โดยเชื้อ *T. ferrooxidans* ที่ผ่านการปรับสภาพ คือ การใช้สารอาหาร 9K medium ผสมเชื้อ *T. ferrooxidans* 20 %(v/v) ปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 122 มิลลิกรัม/ลิตร ไหลผ่านกากตะกอน 250 กรัม ซึ่งบรรจุในคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหล 15 มล./ตร.ซม.-ชม. โดยใช้ปริมาณเหล็กเฟอร์รัส 30 กรัม/ลิตร และควบคุมค่าพีเอชของสารละลายที่ 2.5-3.0 พบว่าการทดลองในวันที่ 150 สามารถลิชชิ่งนิกเกิลออกมาได้ 34,788 มิลลิกรัม/ลิตร (32.90%) ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีเชื้อ สามารถลิชชิ่งนิกเกิลได้ 22,440 มิลลิกรัม/ลิตร (21.22%)

ปริมาณเชื้อเริ่มต้นในสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณเชื้อ *T. ferrooxidans* ที่กระจายตัวอยู่ในกากตะกอน ดังนี้ การใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10 และ 20%(v/v) ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 71 และ 124 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณเชื้อกระจายตัวอยู่ในกากตะกอนใกล้เคียงกัน 2.0×10^4 และ 2.3×10^4 เซลล์ต่อกรัมกากตะกอน ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณเหล็กเฟอร์รัสในสารละลายมีผลต่อปริมาณเชื้อ *T. ferrooxidans* ที่กระจายตัวอยู่ในกากตะกอน ดังนี้ การใช้ปริมาณเหล็กเฟอร์รัส 4 10 20 30 กรัม/ลิตร ทำให้มีปริมาณเชื้อกระจายตัวอยู่ในกากตะกอน 2.3×10^4 2.8×10^4 4.3×10^4 และ 8.7×10^4 เซลล์ต่อกรัมกากตะกอน ตามลำดับ

การลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ในคอลัมน์โดยใช้สารละลาย 9K medium ผสมเชื้อ *T. ferrooxidans* ทำให้เกิดเป็นสารประกอบ $Mg_6Fe_2CO_3(OH)_{16}.4H_2O$ ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงตกตะกอนภายในคอลัมน์

สำหรับการลิชชิ่งนิกเกิลโดยเชื้อ *T. thiooxidans* ที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าการเติมผงซัลเฟอร์ลงในกากตะกอนทำให้ประสิทธิภาพการลิชชิ่งนิกเกิลสูงขึ้นดังนี้ การใช้สารอาหาร thiomedium ผสม *T. thiooxidans* 20%(v/v) ปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 55 มิลลิกรัม/ลิตร

ไหลผ่านกากตะกอน 250 กรัม ซึ่งบรรจุในคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหล 15 มล./ตร.ซม.-ชม โดยที่ในสารละลายมีซัลเฟอร์ 10 กรัม/ลิตร และในกากตะกอนผสมซัลเฟอร์ 0.2 กรัม/กรัมกากตะกอน และทำการทดลองโดยควบคุมพีเอชของสารละลาย 1.5-2.0 พบว่าการทดลองในวันที่ 150 สามารถลิชชิ่งนิกเกิลออกมาได้ 40,097 มิลลิกรัม/ลิตร (37.92%) ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีเชื้อสามารถลิชชิ่งนิกเกิลออกมาได้ 24,000 มิลลิกรัม/ลิตร (22.70%)

5.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลิชชิ่งโดยกรดซัลฟิวริกและแบคทีเรีย

สำหรับการลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนในระบบขวดเขย่า พบว่า การใช้กรดซัลฟิวริก การใช้เชื้อ *T. ferrooxidans* และการใช้เชื้อ *T. thiooxidans* มีค่าใช้จ่าย 19 99 และ 160 บาท/กิโลกรัมกากตะกอน ตามลำดับ นั่นคือเชื้อ *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการลิชชิ่งด้วยกรดซัลฟิวริกประมาณ 5 และ 8 เท่า ตามลำดับ

สำหรับการลิชชิ่งนิกเกิลออกจากกากตะกอนในคอลัมน์ พบว่า การใช้กรดซัลฟิวริก การใช้เชื้อ *T. ferrooxidans* และการใช้เชื้อ *T. thiooxidans* มีค่าใช้จ่าย 97 174 และ 163 บาท/กิโลกรัมกากตะกอน ตามลำดับ นั่นคือเชื้อ *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการลิชชิ่งด้วยกรดซัลฟิวริกประมาณ 2 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย